

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Автоматики та управління в технічних системах**

До захисту допущено
Завідувач кафедри
_____ Олександр РОЛІК
«__» _____ 20__р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані системи управління»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему «Автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів»**

Виконав:

Студент IV курсу, групи ІА-62

Будничук Антон Андрійович _____

Керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Кравець Петро Іванович _____

Резидент

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Автоматики та управління в технічних системах**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані системи управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр

РОЛІК

«__» _____ 20__р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Будничуку Антону Андрійовичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів», керівник проєкту Кравець Петро Іванович к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «07» травня 2020р. №1081-с

2. Термін подання студентом проєкту 09.06.2020

3. Вихідні дані до проєкту: швидкість реакції в реакторі близько 0.0035 хв^{-1} , об'єм реактору 1.2 м^3 , швидкість подачі насосу $0.06 \text{ м}^3/\text{хв}$, перегулювання до 7%, час перехідного процесу до 10 с, розмір дисперсних алмазів $3-20 * 10^{-10} \text{ м}$, надійність системи більше ніж 99%, час наробітку на відмову більше 100,000 год, інтенсивність відмов не більше $8 * 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

4. Зміст пояснювальної записки: огляд предметної області та існуючих рішень. Опис структурної та функціональної схем автоматизованої системи керування синтезом алмазів. Створено алгоритм роботи. Вибір елементної бази. Розрахунок надійності автоматизованої системи. Дослідження контуру регулювання. Створення та дослідження математичної моделі на якість та стійкість. Синтез цифрового регулятора. Дослідження регулятора на якість. Розробка та опис програмної реалізації.

5. Перелік графічного матеріалу: схема електрична структурна, схема загальна функціональна, алгоритм роботи, моделі Simulink.

6. Дата видачі завдання 05.03.2020

Календарний план

№	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз предметної області	15.03.2020	
2	Аналіз існуючих рішень	22.03.2020	
3	Розробка та опис структурної та функціональної схем автоматизованої системи керування синтезом алмазів	15.04.2020	
4	Створення алгоритму роботи	25.04.2020	
5	Вибір елементної бази	05.05.2020	
6	Розробка математичної моделі	11.05.2020	
7	Аналіз стійкості та якості	15.05.2020	
8	Синтез регуляторів	20.05.2020	
9	Аналіз регуляторів	25.05.2020	
10	Створення програмної реалізації	30.05.2020	
11	Оформлення проєкту	03.06.2020	
12	Подання готового проєкту	09.06.2020	

Студент

Антон БУДНЧИУК

Керівник

Петро КРАВЕЦЬ

АНОТАЦІЯ

Будничук А. А.. Автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів. КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020.

Проект містить 64 с. тексту, 24 рисунків, 9 таблиць, 39 формул, посилання на 18 літературні джерела та 4 конструкторських документи.

Ключові слова: синтез алмазів, виробничий процес, детонація, реактор, ПІ-регулятор, ПД-регулятор, цифрова система, CodeSyS.

Об'єктом керування є комплекс синтезу алмазів методом вибуху.

Предметом дослідження є реактор газифікації.

Метою дипломного проєкту є підвищення якості роботи реактору.

У дипломному проєкті розроблено систему автоматизованого керування технологічним процесом синтезу алмазів методом вибуху, яка забезпечує виконання алгоритму. Досліджено існуючі рішення. Сформовано завдання. Розроблено структурну схему автоматизації. Розроблено функціональну схему автоматизації. Була обрана елементна база. Розрахована надійність системи. Досліджено основний контур системи. Було створено алгоритм роботи та вибрані елементи. Розроблено математичну модель та цифрову передавальну функцію системи реактора. Проведено аналіз якості, який виявив, що потрібно розробити регулятор для підвищення швидкості та точності. Проведено аналіз стійкості методами Гурвіца та Найквіста. Розроблено ПІ- та ПД-регулятори. Створено реалізацію у програмному комплексі.

Отримані результати можуть бути корисними при автоматизації аналогічних чи подібних об'єктів.

ABSTRACT

Budnichuk AA. Automated control system for the production of synthetic diamonds. KPI them. Igor Sikorsky, Kyiv, 2020.

The project contains 64 pages. text, 24 figures, 9 tables, 39 formulas, references to 18 literature sources and 4 design documents.

Keywords: diamond synthesis, production process, detonation, reactor, PI-regulator, PID-regulator, digital system, CodeSyS.

The object of control is a complex of diamond synthesis by the method of explosion.

The subject of the study is a gasification reactor.

The purpose of the diploma project is to improve the quality of the reactor.

In the diploma project the system of the automated control of technological process of synthesis of diamonds by an explosion method which provides execution of algorithm is developed. Existing solutions are investigated. The task is formed. The structural scheme of automation is developed. The functional scheme of automation is developed. An element base was selected. The reliability of the system is calculated. The basic contour of the system is investigated. The algorithm of work and selected elements were created. A mathematical model and digital transfer function of the reactor system have been developed. A quality analysis was performed, which revealed that it is necessary to develop a regulator to increase speed and accuracy. The analysis of stability by Hurwitz and Nyquist methods is carried out. PI and PID regulators have been developed. An implementation in the software package has been created.

The results can be useful in automating similar or similar objects.

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. аркушів	Номер екзем.	Примітка
1			Документація загальна			
2						
3			Знову розроблена			
4						
5	A4	IA62.040БАК.005 ПЗ	Пояснювальна записка	65		
6						
7	A3	IA62.180БАК.005 Э1	Схема електрична структурна	1		
8						
9	A3	IA62.180БАК.005 Э2	Схема загальна	1		
10						
11	A3	IA62.040БАК.005 Д1	Алгоритм роботи	1		
12						
13	A3	IA62.040БАК.005 Д2	Моделі Simulink	1		
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
			IA62.040БАК.005 ТП			
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість технічного проекту Автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів	
Розроб.		Будничук А.А.				
Перевір.		Кравець П.І.				
Реценз.						
Н. Контр.						
Затв.					Літ. Аркуш Аркушів Т 1 1 «КПІ ім. І. Сікорського» ФІОТ група ІА-62	

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система управління
виробництвом синтетичних алмазів»

Київ - 2020

Вступ.....	4
1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ НАНОАЛМАЗІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	6
1.1 Технологія виготовлення синтезу алмазів.....	6
1.2 Існуючі системи синтезу	11
1.3 Існуючі системи керування	14
1.4 Висновок розділу.....	15
2 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТУ	16
2.1 Розробка структурної схеми.....	16
2.2 Розробка та опис функціональної схеми автоматизації об'єкту	18
2.2 Контури регулювання	20
2.4 Розробка алгоритму роботи	21
2.5 Вибір елементної бази	23
2.6 Вибір вимірювальних перетворювачів	24
2.6.1 Вибір вимірювального перетворювача температури	25
2.6.2 Вибір вимірювального перетворювача витрат.....	26
2.6.3 Вибір засобів зображення інформації	27
2.6.4 Вибір вимірювального перетворювача рівня	27
2.7 Вибір виконавчих засобів.....	28
2.7.1 Вибір електродвигуну.....	29
2.7.2 Вибір реле часу.....	31
2.8 Розрахунок показників надійності автоматизованого об'єкта	32
2.9 Висновок розділу.....	35

					IA62.040БАК.002 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Будничук				Автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів. Пояснювальна записка	Лит.	Лист	Листів
Перевір	Кравець						1	64
Н. контр.						КПІ ФІОТ Група ІА-62		
Утв.								

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ	36
3.1 Опис елементів системи керування.....	36
3.1.1 Опис хімічного реактора	36
3.1.2 Опис контролера.....	38
3.1.3 Опис насосу	39
3.1.4 Вибір дисплею	40
3.1.5 Вибір програмного забезпечення	41
3.2 Висновки розділу	44
4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ.....	45
4.1 Розробка математичної моделі	45
4.2 Дослідження стійкості системи керування.....	48
4.3 Дослідження якості системи керування.....	50
4.4 Розробка регулятора для системи керування	51
4.5 Висновки розділу	56
5 РОЗРОБКА ТА ОПИС АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	57
5.1 Опис алгоритму системи	57
5.2 Реалізація алгоритму в середовищі CodeSYS	58
5.3 Висновки розділу	61
ВИСНОВКИ.....	62
Список літератури	63

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЛК – програмований логічний контролер.

ОУ – об’єкт управління (регулювання).

ВП – виконавчий пристрій.

П – підсилювач.

Д – датчик.

КП – коригуючий пристрій.

ЗП – задаючий пристрій.

ПП – порівнючий пристрій.

ЕОП – електронно обчислювальний пристрій.

ST (Structured Text) – мова програмування.

SFC (Sequential Function Chart) – послідовні функціональні схеми.

ПІ-регулятор – регулятор з пропорційною та інтегральною складовими.

ПІД-регулятор – регулятор з пропорційною, інтегральною та похідною складовими.

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика.

Вступ

В сучасному світі з'являється потреба в ефективних інструментах. Використання алмазних засобів істотно збільшують чистоту обробки деталей, а продуктивність праці зростає при цьому приблизно на 50%. Основні сфери використання технічних алмазів – обробна і гірська промисловість. Абразивні алмазні порошки наносяться на дискові пилки, фрезерний інструмент, свердла, бурові коронки, тощо. Шліфувальні алмазні порошки застосовуються для тонкого доводіння поверхонь різних виробів, в тому числі і ювелірних каменів на гранувальних фабриках. Алмазні фільтри використовуються при протягуванні тонкого дроту. У наш час алмази знайшли широке застосування в електронній техніці. Алмази незамінні в якості деталей електронних приладів, що працюють в екстремальних умовах: при низьких і високих температурах, в сильних електромагнітних полях, в потоках іонізуючих випромінювань, в агресивних середовищах, тощо.

Людство навчилося синтезувати алмази без потреби в його добуванні глибоко в надрах землі. Були створенні великі установки, які створюють умови такі ж самі, як і тисячоліття назад, коли створювалась геосфера Землі з великим тиском та температурою. В такі умови потрапляє графіт, який потім стає алмазом. Методів створення таких умов є два. Послідовний та вибуховий. І якщо послідовний процес займає тижні для створення алмазів, то вибуховий синтезує за десятки секунд.

В роботі розглядається вибуховий метод, який небезпечний через використання детонації. Задля зменшення людського фактора зазвичай використовується система автоматичного керування. Вона відповідає за виконання інструкцій щодо процесу, а також його регуляцію відповідно до аварійних ситуацій. Але ці програмовані логічні контролери були створенні дуже давно і їх програмована реалізація не відповідає сучасним нормам й потребам у швидкості. Адже процес синтезу відбувається дуже швидко, до 10 секунд. І задля покращення результату потребує сучасних швидкостей.

					ІА62.110БАК.005 ПЗ	Лист
						4
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Метою даного дипломного проекту є створення сучасної системи автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення алмазів. Завданням цього дипломного проекту є огляд існуючих рішень, формування завдання для системи, дослідження основного контуру, підбір елементів для нього, створення його математичної моделі, її дослідження та покращення, створення програми для програмованого логічного контролера.

В процесі виконання даної роботи необхідно розв'язати наступні задачі:

- розробка структурної схеми системи керування;
- розробка функціональної схеми системи керування;
- побудова математичної моделі хімічного реактора;
- дослідження якості та стійкості розробленої системи;
- синтез цифрового регулятора;

Одержанні результати наявні та можуть бути використанні при створенні автоматизованої системи а також в наукових дослідженнях.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ НАНОАЛМАЗІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Технологія виготовлення синтезу алмазів

Основним напрямком діяльності є процес синтезу алмазів методом детонації вибухових речовин. При цьому способі отримують дуже дрібний алмазний пил для виробництва заточувальних каменів, абразивів. Застосовують або вибух «звичайної» вибухової речовини, або вибух дроту великим імпульсом струму.

«Нагрітий» графіт, який знаходиться на так званій «пательні», в момент зіткнення з детонаційною хвилею він перетворюється на кристали алмазу. Цей метод дає вихід продукції набагато більший у відсотковому відношенні від кількості графіту, ніж спосіб високого тиску[1].

Сутність цього способу отримання алмазів полягає в тому, що при підриві вибухової речовини в замкненому просторі детонаційна хвиля під час удару з перешкодою на приграничному шарі створює одночасно і високий тиск, і високу температуру. Тиск може досягати більше ніж 280 000 атм, температура — десятки тисяч градусів. На жаль (чи на щастя), все це за часом укладається в тисячні частки секунди, та розмір (ширина) детонаційної хвилі не перевищують 11–32 мікронів.

Детонаційний синтез алмазу має наступні переваги[1] перед статичним синтезом:

- велика продуктивність, оскільки відсутні принципові обмеження на розміри стискаються обсягів і масу зарядів, що підриваються, з ростом яких збільшується час існування високого тиску і, як наслідок цього, збільшується якість та розмір синтезованих частинок алмаза; за один цикл можна отримати до 10^4 карат порошку;
- не потрібні витратні деталі з дефіцитних твердих сплавів, легованих сталей, не потрібні метали-каталізатори (Ni, Mn);

- в результаті синтезу в сильно нерівноважних умовах виходять унікальні полікристалічні порошки алмазу з нанокристалічної структури; кожна частка алмазу має безліч дрібних гострих крайок. Що забезпечує найвищу якість фінішної обробки;
- тиск, швидкості навантаження, температури стиснення і залишкові температури можуть регулюватися способом стиснення (одноразове або багаторазове ударне), потужністю вибухової речовини, початкової пористості, стисненням сумішей з різною стисливістю і теплопровідністю, застосуванням попереднього нагрівання або охолодження;
- прямий перехід вуглеграфітових матеріалів в алмаз дозволяє отримувати чистий алмаз без домішок металів-каталізаторів, що знижують міцність і термостійкість алмазу.

Разом з тим вибухового методу властиві і недоліки:

- вибухові роботи, виготовлення і транспортування зарядів є особливо. Небезпечними (проводяться вручну);
- синтез в ампулах збереження вимагає проведення вибухів на спеціальних полігонах;
- для синтезу алмазу звичайно потрібні заряди з дорогих і потужних вибухових речовин (гексотен, сплав ТГ40);
- зростання ентропії при ударному стисненні обумовлює залишкові температури у обжатого матеріалу, які ростуть зі збільшенням температури стиснення і часто призводять до відпалу одержуваних метастабільних фаз (алмаза);
- перетворення графіт-алмаз в ударній хвилі має багатоступеневий характер і вимагає певного часу для росту алмазних кристалів;
- відносно висока вартість потужних ВВ, що виготовляються зазвичай на оборонних підприємствах (тому економічно вигідно великомасштабне виробництво) і ряд інших.

Таким чином, вибухові пристрої для синтезу алмазу повинні мати досить великі розміри, щоб забезпечити максимально можливий час існування високого тиску (20-40 ГПа), мінімальну швидкість розвантаження та максимальну ступінь охолодження отриманого алмазу шляхом теплообміну з оточуючим алмаз наповнювачем[2].

Існують дві принципові схеми[3] ударно-хвильового тиску вуглеграфітового матеріалу:

- контактна схема, при якій вуглеграфітовий матеріал, що знаходиться в контакті з зарядом або безпосередньо, або через шар металу. У цьому випадку тиск зазвичай не перевищує 30-40 ГПа;
- безконтактна схема, при якій на вуглеграфітовий матеріал впливає металевий ударник, що розганяється зарядом вибухової речовини. Тиск в вуглеграфітового матеріалу залежить від швидкості ударника і може досягати 100 ГПа і більше.

За своєю геометрії пристрої ударно-хвильового навантаження діляться на плоскі, з осьовою симетрією (циліндричні) і сферичні (з центральною симетрією).

Як приклад наявні структура і основні технологічні параметри виробництва ультрадисперсних алмазів в державному науково-виробничому об'єднанні порошкової металургії НІ ЗАТ «Сінта», розрахованого на випуск до 10 т алмазосмістких матеріалів на рік [6, 7]. Виробництво є комплексним і включає технологічні операції детонаційного синтезу, хімічне очищення і відмивання УДА від кислоти, кондиціонування напівпродуктів. Модифікування поверхні і глибоке очищення алмазів.

На рис. 1.1 представлена спрощена структурна схема промислового комплексу виробництва наноалмазів[8].

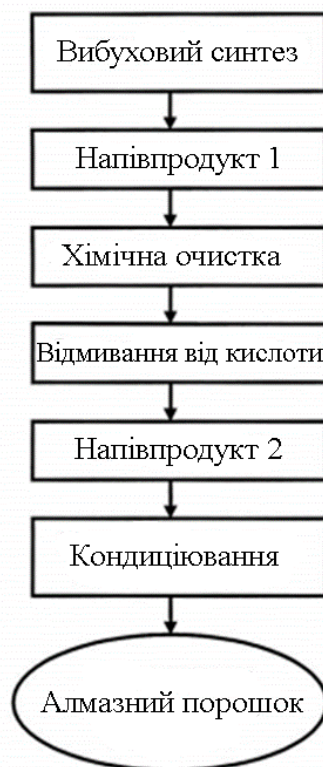


Рисунок 1.1 – Спрощена структурна схема промислового комплексу виробництва наноалмазів

Виділення ультрадисперсних алмазів з напівпродуктів синтезу проводиться методом барометричного окислення шихти водною азотною кислотою[1]. Алмазомістка шихта інтенсивно перемішується з кислотою і через насосів-дозаторів високого тиску подається в реакційну зону. Проходячи через каскад нагрівних реакторів, кислотна суспензія покроково нагрівається до 270-320°C, термостатується, потім охолоджується і передається на вузол розвантаження високого тиску. Розвантаженню піддається складна гетерофазна суміш: рідина, насичена газами й містить до 3 мас.% алмазних частинок. У приймачі суспензії подається стиснене повітря для кондиціонування окислів. Освітлена суспензія УДА в відпрацьованій азотній кислоті періодично подається на ділянку відмивання. Процес очищення йде постійно в автоматизованому режимі, з продуктивністю по ультрадисперсним алмазам 5000 карат на годину.

На рисунку 1.2 представлені елементи технологічного обладнання для синтезу і очищення наноалмазов державного науково-виробничого об'єднання порошкової металургії НІ ЗАТ «Сінта»[8].

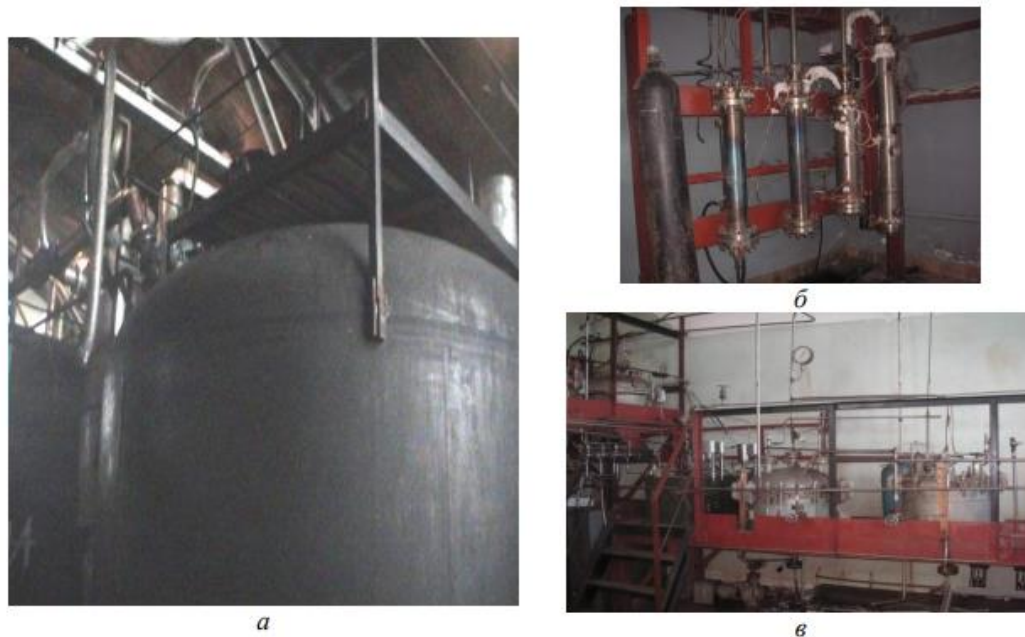


Рисунок 1.2 – Вибухова камера для детонаційного синтезу наноалмазів (а), реакторний блок хімічного очищення наноалмазів (б) і вузол приймання суспензії після реакторного блоку (в)

Як впливає з фазової діаграми (рисунок 1.3)[1], мінімальне значення тиску, необхідне для отримання алмазу, становить 12,5 ГПа.

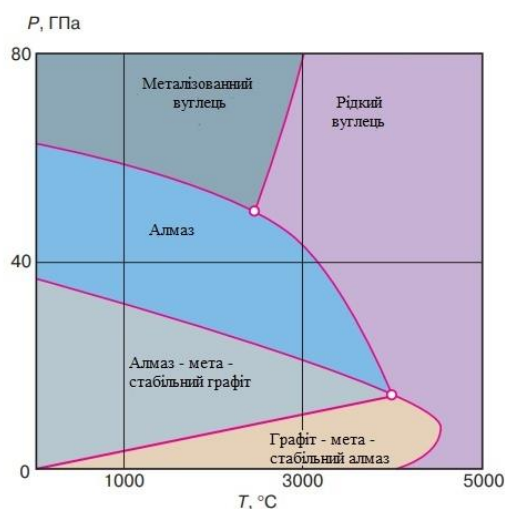


Рисунок 1.3 – Фазова діаграма вуглецю.

1.2 Існуючі системи синтезу

Контролер реактору синтезу призначений для моніторингу, стеження за змінами параметрів стану середовища, а також використовується для прогнозів змін умов.

Моніторинг внутрішнього середовища — це комплексна система спостережень за станом внутрішнього середовища, оцінки і прогнозу змін стану внутрішнього середовища під впливом антропогенних факторів, таких як тиск, температура, час[8].

Автоматизація таких систем зазвичай надмірна через необхідність перекачувати напівпродукт з реактора в нагрівач. В проєкті було обрано спрощення цього кроку завдяки поєднанню функціоналу реактору та нагрівачу.

Застосування такої системи зараз актуально в дослідженнях у сфері геології. Надалі приведено приклади таких систем. Однією з використовуваних систем є установка для вирощування алмазів MW-PACVD SSDR 150 PLASSYS.

Установка MV-PACVD SSDR 150 Plassys являє собою мікрохвильовий плазмовий реактор, призначений для синтезу алмазної плівки і дорогоцінних каменів. Використовуючи плазму високої щільності, реактор дозволяє отримувати алмазні плівки високої чистоти з високою швидкістю росту.

Характеристики реактора MV-PACVD SSDR 150 Plassys:

- плазмовий реактор високої потужності;
- високий робочий тиск до 30 Кпа і вище;
- встановлено 4 газопроводи;
- дихроматичний ІЧ-пірометр (475 – 1475 ° C);
- турбомолекулярна помпа + Суха первинна помпа;



Рисунок 1.4 – Установка для вирощування алмазів MW-PACVD SDDR 150 PLASSYS

Іншою установкою, більш сучасною є модель AX5250. СВЧ-плазмовий реактор AX5250 має в собі 5 кВт при мікрохвильовому генераторі 2,45 ГГц для отримання плазми при високій щільності потужності. Така операція дозволяє новий режим плазмового синтезу. У цій конфігурації мікрохвильової порожнини було продемонстровано швидкість росту вкладки на осі до 15 мкм м/год для алмазу. Досягнуто загальної масової швидкості осадження 60 мг/год.

Характеристика моделі AX5250:

- робочий тиск до 25 Кпа і вище;
- встановлено 6 газопроводів;
- дихроматичний ІЧ-пірометр (400 – 1650 ° C);



Рисунок 1.5 – Модель AX5250

Надана таблиця 1.1 для порівняння характеристик[8]:

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики субмікро- і наноалмазів, отриманих різними методами

Найменування характеристик	Спосіб отримання алмазу		
	Статичний синтез	Детонаційний спосіб впливу на графіт (Сажу)	Наноалмази детонаційного синтезу
1. Пікнометрична щільність, г/см ³	3,49	3,20-3,40	3,30
2. Розмір частинок, нм	0-2000	41-82	2-30
3. Питома поверхня, м ² /г	13,5	20-42	250-350
4. Величина вогнетривкого залишку, %	<0.1	0,1	<2.0
5. Температура початку окислення на повітрі, ° С	450	-	400
6. Температура початку графітизації в вакуумі, ° С	1100	>800	900

Продовження таблиці 5.2

7. Електроопір, Ом · м	$1 \cdot 10^{11}$	-	$7,7 \cdot 10^9$
8. Тангенс кута діелектричних втрат при частоті $f = 103$ Гц	0,01	-	0,0145
9. Питома магнітна сприйнятливість, $\text{м}^3/\text{кг}$	$0,5 \cdot 10^{-8}$	-	$<1,0 \cdot 10^{-8}$
10. Ступінь гідрофільності, мДж / моль · г	-1480	-	-3100
11. Електрофоретичний заряд поверхні, мВ	-6,53	-	-78,44

Далі наведено перелік потрібних датчиків та виконавчих пристроїв:

- помпа;
- дисплей;
- контролер;
- датчик температури;
- датчик тиску;
- датчик рівня.

1.3 Існуючі системи керування

Програмовані логічні контролери (ПЛК) – це спеціальні мікрокомп'ютери, призначені для виконання операцій перемикання в промислових умовах. ПЛК є важливим елементом системи автоматизації підприємства. Вони важливі для автоматичного управління об'єктом в умовах реального часу. До ПЛК підключають зовнішні модулі, що дозволяють збирати і аналізувати дані, тримати під контролем роботу об'єкта управління.

Програмовані логічні контролери являють собою пристрій, призначенням якого, є, збір і перетворення інформації, а далі обробка, зберігання і вироблення команд управління. Програмовані логічні контролери

автоматично, в режимі реального часу, збирають дані з датчиків та інших джерел і передають оброблену інформацію на машини і обладнання.

Наявні системи використовують мікроконтролер Vira Speed7 CPU 313-5BF13[8]. Цей контролер був дуже популярний, що навіть інші варіанти не розглядаються. Його характеристики:

- аналогових входів – 6;
- аналогових виходів – 4;
- дискретних входів – 8;
- дискретних виходів – 8;
- пам'ять програми: до 32k кроків;
- комунікаційні порти: 1x RS-232 и 1x RS-485;
- швидкість опитування АЦП – $40-100 * 10^{-4}$ сек;
- швидкість – 4194304 біт/сек;
- довжина слова даних – 8 біт;

1.4 Висновок розділу

В даному було розглянуто метод синтезу та наявні промислові реалізації. Були дослідженні їх переваги та недоліки. Була розглянута система автоматизації. Після аналізу отриманих даних, їх переваг та недоліків, прийнято рішення розробляти систему для синтезу алмазів методом вибуху із використанням двох блоків керування. Така система дасть менше алмазів за увесь час роботи, але має інші переваги:

- алмази не потребують подальшої обробки;
- система займає менше місця коштом одного об'єкта керування;
- оскільки кількість об'єктів керування зменшена, то регулювати процес простіше та надійність системи більша;
- потребує меншої енергії для підтримання умов на великий проміжок часу.

В даному розділі було використано 5 зображень та 1 таблиця.

2 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБ'ЄКТУ

2.1 Розробка структурної схеми

Креслення схеми електричної структурної у великому форматі наведено в ІА62.040БАК.005 Э1.

Структурна схема — це сукупність елементарних ланок об'єкта і зв'язків між ними, один з видів графічної моделі. Під елементарною ланкою мається на увазі частина об'єкта, системи управління, тощо, яка реалізує елементарну функцію[9].

Вибір структури управління об'єктом автоматизації має суттєвий вплив на ефективність його роботи, зниження відносної вартості системи управління, її надійності, ремонтоздатності і т.д.

Через те, що розглядається відокремлений процес виробництва, то структура системи управління однорівнева.

Проект складається з двох простих об'єктів управління, керування якими може забезпечити один блок. Отже, в системі присутні 2 контури:

Контур вибухової камери – оператор подає команду вибуху, де створюється перший напівпродукт.

Контур реактора – має в собі блок живлення та завершує процес синтезу.

Структурна схема автоматизованої системи керування складається з наступних блоків:

- датчики на бортиках й кришці реактора – знімає показники герметизації шлюзу у вибуховій камері й передає отримані дані на контролер;
- датчик рівня рідини – знімає показники рівня кислоти у вибуховій камері й передає отримані дані на контролер;
- датчик положення шлюзу – знімає герметизації шлюзу в реакторі й передає отримані дані на контролер;
- датчик температури – знімає показники температури в реакторі й передає отримані дані на контролер;

- датчик тиску – знімає показники тиску в реакторі й передає отримані дані на контролер;
- блок перетворень – слугує проміжним блоком або між датчиками та контролером, або між контролером та виконавчими засобами;
- мікроконтролер – пристрій, який саме регулює;
- джерело живлення реактора – пристрій який дає напругу реактору;
- джерело живлення насосу – пристрій який дає напругу помпі;
- інтерфейс для вводу та зміни початкової інформації – головний проміжний блок, який конвертує дані з екрана для передачі на контролер;
- екран оператора – інструмент вводу оператору;
- панель з індикаторами – засіб виводу інформації для оператора;
- детонатор вибухової камери – стартер процесу синтезу;
- шлюз вибухової камери – відповідає за герметизацію об'єктів керування для безпеки;
- двигун насосу – виконавчий засіб, який переміщує напівпродукт;
- клапани насосу – виконавчі засоби для контролю положення напівпродукту;
- нагрівач – виконавчий засіб для контролю температури;
- клапани реактору – виконавчі засоби для контролю рідини в реакторі.

Інформація з блоку датчиків вибухової камери, з блоку датчиків помпи та з блоку датчиків реактору поступає в блок перетворень у блоці керування реактором.

Блок перетворень виконує аналогово-цифрове перетворення та передає данні у мікроконтролер. Мікроконтролер виконує обчислення із використанням отриманого керівного впливу від блоку вводу/виводу, який становить собою людино-машинний інтерфейс. Мікроконтролер продовжує алгоритм відповідно до програми і створює виконавчий сигнал. Цей сигнал поступає до цифро-аналогового перетворювача.

Цифро-аналоговий перетворювач передає виконавчий сигнал до виконавчих засобів. Таких як шлюзи, детонатор, клапани, тощо.

2.2 Розробка та опис функціональної схеми автоматизації об'єкту

Креслення схеми функціональної у великому форматі наведено в ІА62.040БАК.005 Э2.

Завдання виконання алгоритму є однією з найпоширеніших завдань не тільки при синтезі, а й у інших сферах[10].

Виконання алгоритму передбачає послідовного виконання кроків й стеження за температурою й тиском і, якщо ці параметри виходять за межі допустимого, необхідно впливати доступними засобами в напрямку повернення в допустимі межі.

На початку алгоритму відбувається перевірка безпеки. Якщо все у нормі, то відбувається ініціальна детонація. Відчиняється клапан кислоти та подається у вибухову камеру кислота. Подається вона доки не заповнить повністю об'єкт управління, про що нам скаже датчик рівня. Досягнувши максимуму клапан зачиняється та відбувається очікування. Потім відчиняються клапани між об'єктами управління та вмикається помпа. Коли уся кислота потрапляє з вибухової камери у реактор, то всі клапани зачиняються та починається перемішування й підвищення тиску. Досягнув потрібного значення починається нагрівання. А й тоді досягнувши потрібного значення відбувається кондиціонування. Після цього усе зливається й алгоритм закінчує роботу.

Далі наданий перелік необхідних датчиків і виконавчих пристроїв, що належать до окремого контуру регулювання:

- датчики:
 1. LA – датчик рівня в вибуховій камері;
 2. LT – датчик температури в реакторі;
 3. LP – датчик тиску в реакторі;

4. LS1 – датчик положення шлюзу в вибуховій камері;
 5. LS2 – датчик положення шлюзу в реакторі.
- виконавчі пристрої:
 1. d1 – детонатор у вибуховій камері;
 2. d2 – відкриття клапану кислоти в вибуховій камері;
 3. d3 – відкриття клапану зливу з вибухової камери;
 4. d4 – включення помпи між вибуховою камерою та реактором;
 5. d5 – відкриття клапану вливу в реактор;
 6. d6 – включення міксеру в реакторі;
 7. d7 – відкриття клапану зливу з реактора;
 8. d8 – відкриття клапану газу в реакторі;
 9. d9 – закриття клапану кислоти в вибуховій камері;
 - 10.d10 – закриття клапану зливу з вибухової камери;
 - 11.d11 – виключення помпи між вибуховою камерою та реактором;
 - 12.d12 – закриття клапану вливу в реактор;
 - 13.d13 – виключення міксеру в реакторі;
 - 14.d14 – закриття клапану зливу з реактора;
 - 15.d15 – закриття клапану газу в реакторі;
 - 16.d16 – ввімкнення нагрівача реакторі;
 - 17.d17 – вимкнення нагрівача реакторі;
 - 18.d18 – ввімкнення пресу реакторі;
 - 19.d19 – вимкнення пресу реакторі;

Кількість необхідних датчиків та виконавчих пристроїв для контуру вибухової камери становить 9. Кількість необхідних датчиків та виконавчих пристроїв для контуру реактору становить 15.

Функціональна схема складається з наступних елементів:

- LA – датчик рівня в вибуховій камері;
- LT – датчик температури в реакторі;
- LP – датчик тиску в реакторі;

- LRK – засіб контролю клапанами;
- FT – приймач для сигналу положення шлюзу;
- PT – приймач для сигналу рівня рідини у вибуховій камері;
- TT – цифро-аналоговий перетворювач для даних про температуру в реакторі;
- TC – передавач для температури від контролера;
- PRK – засіб контролю нагрівачем.

2.2 Контури регулювання

Кожен контур регулювання можна розглядати як деяку систему, що складається безпосередньо із самого об'єкта регулювання і регулятора, який через виконавчий пристрій може впливати на регульований параметр об'єкта. Робота регулятора здійснюється на основі постійного аналізу регульованого параметра, що характеризує стан об'єкта, для чого до входу регулятора підключають датчик. Інформаційний зв'язок між датчиком, що вимірює регульований параметр, і входом регулятора називається зворотним зв'язком[9].

В цій проектній роботі за кількістю об'єктів управління є два контури управління:

- вибухова камера;
- хімічний реактор.

Контур вибухової камери носить одноразову дію, а потім передається напівпродукт до хімічного реактора. Контур вибухової камери має в собі П-регулятор. Має в собі датчик рівня та датчик положення шлюзу. З виконавчих засобів має в собі регулятори прямої дії. А саме – шлюз, клапани, детонатор.

Контур реактора носить характер постійної дії. Має в собі ПІД-регулятор. Має в собі датчики температури, тиску, положення шлюзу. З

виконавчих засобів має в собі регулятори прямої дії. А саме – шлюз, нагрівач, клапани, прес, мішалка.

Прийнято, що процеси ідеальні.

Сформульована ціль автоматизації процесу синтезу така:

1. забезпечити $a_i < t_i * S_i < b_i$, де t_i – температура в реакторі і S_i – стан шлюзу на i -ой ділянці.
2. забезпечити $c_i < P_i * S_i < d_i$, де P_i – тиск в реакторі.

Якщо в цей момент часу умови задовільні, то наявні стани виконавчих пристроїв не порушується. Можливі чотири варіанти порушення умов: температура реактора t за межами або верхньої межі, або нижньої межі діапазону; тиск P за межами або верхньої межі, або нижньої межі відповідного діапазону. Порушення можна виправити або коштом включення-відключення нагрівача, або шляхом включення-відключення пресу. Якщо проблема в стані шлюзу, то система перейде в аварійний стан і виправити можна лише за допомогою спеціаліста. Варіанти умов для температури:

- при умові $b_i < t_i * S_i$ & нагрівач увімкнено, то треба відключити нагрівач;
- при умові $t_i * S_i < a_i$ & нагрівач вимкнено, то треба включити нагрівач;

Звісно, що вплив зміни виконавчих механізмів позначиться на вимірюваних параметрах не швидко. Тому система управління повинна передбачати відповідні затримки, щоб обходитися мінімальною кількістю перемикачів виконавчого обладнання.

Якщо ж не сталося зміни стану тиску, то слід зайнятися тиском. Алгоритм наступний:

- при умові $d_i < P_i * S_i$ & нагрівач увімкнено, то треба відключити прес;
- при умові $t_i * P_i < c_i$ & нагрівач вимкнено, то треба включити прес;

2.4 Розробка алгоритму роботи

Креслення схеми алгоритму роботи у великому форматі наведено в ІА62.040БАК.005 Д1.

В нас є алгоритм, який виконується покроково. В алгоритмі нема непослідовних дій, окрім аварійних ситуацій.

На початку алгоритму відбувається перевірка безпеки. Якщо все у нормі, то відбувається ініціальна детонація. Відчиняється клапан кислоти та подається у вибухову камеру кислота. Подається вона доки не заповнить повністю об'єкт управління, про що нам скаже датчик рівня. Досягнувши максимуму клапан зачиняється та відбувається очікування. Потім відчиняються клапани між об'єктами управління та вмикається помпа. Коли уся кислота потрапляє з вибухової камери у реактор, то всі клапани зачиняються та починається перемішування й підвищення тиску. Досягнувши потрібного значення починається нагрівання. А вже тоді досягнувши потрібного значення відбувається кондиціонування. Після цього усе зливається й алгоритм закінчує роботу.

У випадку аварійних ситуацій система вимикається та алгоритм зупиняється.

Алгоритм роботи складається з наступних кроків:

- початок – початок алгоритму;
- отримання даних від оператора – створення завдання для алгоритму;
- збір даних про стан шлюзів – отримання даних для перевірки безпеки;
- стан шлюзів дозволяє роботу – порівняння даних для безпеки;
- повідомити про неможливість виконання алгоритму – інструкція дії на випадок техніки безпеки;
- детонація – початок процесу синтезу;
- пройшов час осаду – закінчення процесу синтезу;
- увімкнути подачу кислоти – подання кислоти у вибухову камеру;
- рівень кислоти досяг рівня – кислота заповнила камеру;

- вимкнути подачу кислоти, увімкнути насос – перемістити напівпродукт в реактор;
- рівень кислоти досяг мінімуму – свідчить про те, що напівпродукт в реакторі;
- вимкнути подачу насос, увімкнути прес – початок створення умов для газифікації;
- система в аварійному стані – перевірка безпечності ситуації;
- тиск досяг значення – чи досяг процес заданого значення;
- вимкнути прес, увімкнути нагрівач – зміна процесу створення умов для газифікації;
- система в аварійному стані – перевірка безпечності ситуації;
- температура досягла значення – чи досяг процес заданого значення;
- вимкнути нагрівач – зміна процесу створення умов для газифікації;
- пройшов час газифікації – виконання умов процесу;
- вимкнути прес, увімкнути сирену – інструкції на випадок аварійної ситуації під час використання пресу;
- вимкнути нагрівач, увімкнути сирену – інструкції на випадок аварійної ситуації під час використання нагрівача;
- кінець – кінець алгоритму

2.5 Вибір елементної бази

При проектуванні схем автоматизації необхідно правильно вибирати технічні засоби автоматизації, і розробляти нові. Вимірювальні перетворювачі використовуються в комплекті з вторинними приладами і системами управління[9]. Наприклад, точність датчика визначає точність роботи системи, тому необхідно враховувати в першу чергу метрологічні і динамічні характеристики, що характеризує ступінь впливу навантаження на виході датчика на режим вхідного ланцюга. Крім цього, важливе значення має вибір

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

IA62.110БАК.005 ПЗ

Лист

23

або розробка інших пристроїв автоматики, в тому числі відлікових і дозувальних пристроїв (мірна тара, баки, ваги, тощо), стандартних пристроїв з ручним введенням сигналу (кнопки, клавішні вимикачі, тумблери і т. д.), а також зі змішаним (ручним і автоматичним) введенням сигналу.

2.6 Вибір вимірювальних перетворювачів

При виборі вимірювальних перетворювачів враховують багато різних факторів, такі як:

- інерційність;
- стійкість;
- наявність неприпустимих у місці установки впливів, які не дозволяють використати вимірювальний перетворювач. Наприклад, вібрації або магнітні і електричні поля;
- вимоги до застосування із погляду на пожежо- та вибухобезпечність;
- відстань, на яку можна бути передати інформацію з вимірювального перетворювача.

Вимірювальні перетворювачі обирають зазвичай у два кроки. На першому задається вид вимірювального перетворювача (наприклад, при вимірі температури – манометричний термометр, термометр опору, термopара). На другому кроці визначаються параметри обраного вимірювального перетворювача (наприклад, термометр опору мідний, градиpовки 14, типу ТДМ-4669).

Вибір вимірювального перетворювача рівня, вологості газу, кута повороту, переміщення, наявності тиску, швидкості обертання і прискорення в основному зводиться до обліку і підбора названих вище факторів і характеристик.

Технічні характеристики вимірювальних перетворювачів, що використовуються для контролю параметрів у технологічному процесі представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані вимірювальних перетворювачів

Вимірювальний перетворювач	Параметр	U _n , В	f, Гц	Зона нечутливості, %	Похибка вимірів, %	Вихідний сигнал, мА
Рівень	СУС-МР	36	50	1	± 3	5
Витрати	РЦ-71	24	50	2	± 3	3
Температура	ТГ-041	55	50	1	± 5	3
Тиск	16ДК-1000	36	50	2	± 5	5

2.6.1 Вибір вимірювального перетворювача температури

Необхідно враховувати граничні значення температур, у діапазоні яких можна застосовувати різні датчики, а також вид вихідного сигналу. Ці дві характеристики є головними, які значною мірою визначають вибір того чи другого вимірювального перетворювача. При виборі датчиків варто враховувати середовище, у якому вони мають працювати.

Термометри опору і термопари мають вимір з точністю 0,5 %, а контактні, і манометричні термометри – не більш 1,5 – 2,5 %.

У діапазоні температур від 40 до +600 °С, зазвичай, віддається перевага термометрам опору, що менше зазнають дії електричних і магнітних полів.

Причому, при вимірах у діапазоні температур від –60 до +140 °С варто використовувати мідні, а не платинові термометри опору, бо вони більш дешеві і краще працюють при вібраціях.

Застосування термопари особливо зручне під час виміру температури у важкодоступному чи обмеженому розмірами місці. Цей прилад дає змогу

визначити «місцеву» температуру, тоді як термометр опору й манометричний термометр вимірюють середню температуру тіла.

При необхідності отримання пневматичного сигналу можливе використання як манометричних термометрів із пневмовихідом, так і термопар з послідовним перетворенням термо-ЕДС у пневмосигнал.

Оскільки температура в реакторі може досягати 1600 °С, то було обрано як вимірювальний перетворювач температури термопару.

2.6.2 Вибір вимірювального перетворювача витрат

Витрати рідини і газу на сучасних промислових підприємствах вимірюють різними способами, однак переважна більшість промислових установок облаштовано для цієї мети дросельними витратомірами.

Їх головними елементами є звужувальний пристрій, який надає перепад тиску на ділянці трубопроводу, диференціальний манометр, сполучні лінії, а також керуюча, розділова й захисна апаратура.

Стандартизовані звужувальні пристрої наявні трьох видів: діафрагма (камерна і безкамерна), сопло та труба Вентурі.

В установках з малим статичним тиском, де обмеження втрати тиску на звужувальному пристрої має вирішальне значення, перевагу віддається трубі Вентурі (рис. 2.1). Стандартні звужувальні пристрої можна використовувати, якщо діаметр трубопроводу більше 40 мм, статичний тиск менше за $2 \cdot 10^7$ Па, а модуль знаходиться в межах від 0,05 мм до 0,7 мм для діафрагми і від 0,05 до 0,6 для труби Вентурі.

Оскільки наша система не потребує великих об'ємів та тиску під час перекачування рідин, то було обрано витратомір з трубою Вентурі.

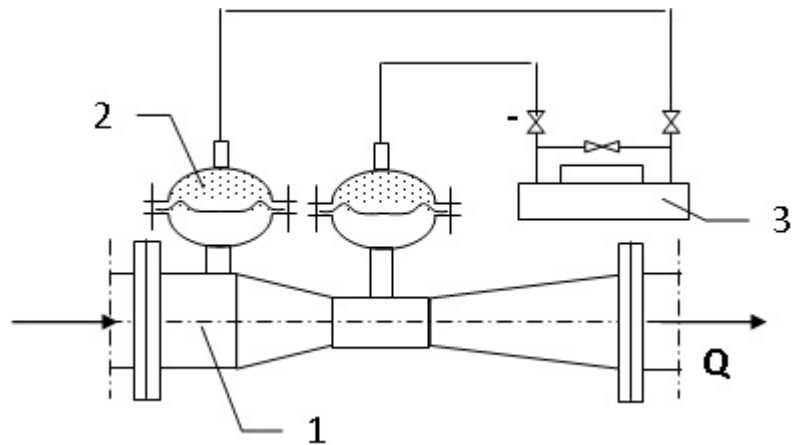


Рисунок 2.1 – Витратомір з трубою Вентурі: 1 – труба Вентурі; 2 – розділювальні посудини; 3 – дифманометр.

2.6.3 Вибір засобів зображення інформації

Розглянутий клас технічних засобів необхідних для виводу регулюючої інформації з обчислювальних пристроїв оператору чи безпосередньо на виконавчі механізми. Пристрої перетворюють машинні сигнали і сигнали операторів у вид, що сприймається людиною і виконавчим механізмом. Для покращеного сприйняття оператором інформація виводиться у вигляді сигналізації, контролю, реєстрації, діалогу. Форма подання зазначається технологією роботи оператора із виведеною інформацією, її важливістю та значенням.

Як найбільше інтуїтивно зрозумілий було обрано дисплей як засіб виводу інформації та кнопки як засіб вводу інформації від оператора.

2.6.4 Вибір вимірювального перетворювача рівня

Рівнем називають висоту заповнення робочою речовиною — рідиною або сипучим тілом. Рівень робочої речовини є технологічною змінною, інформація про нього необхідна для контролю режиму роботи технологічного апарата.

Рівень вимірюють в одиницях довжини. Розрізняють рівнеміри, які призначені для вимірювання рівня робочого середовища; вимірювання маси рідини в технологічному апараті; сигналізації граничних значень рівня робочого середовища — сигналізатори рівня. За діапазоном вимірювання розрізняють рівнеміри великого (з межами вимірювання від 0,4 м до 19 м) і низького діапазонів (межі вимірювання від 0 мм до ± 120 мм або від 0 мм до ± 500 мм). На даний час вимірювання рівня в більшості галузях промисловості виконують різними за принципом дії рівнемірами, з яких дістали поширення візуальні, поплавкові, буйкові, гідростатичні, електричні, ультразвукові і радіоізотопні.

Відповідно до завдання було обрано в межі великого діапазону поплавковий вимірювальний перетворювач рівня.

2.7 Вибір виконавчих засобів

При виборі виконавчих засобів враховують багато різних факторів, але вони схожі із факторами при виборі вимірювальних перетворювачів[10]:

- стійкість;
- наявність неприпустимих у місці установки впливів, що не дозволяють використати виконавчий засіб. Наприклад, вібрації або магнітні і електричні поля;
- вимоги до застосування із погляду на пожежо- та вибухобезпечність;

Виконавчі засоби вибирають, зазвичай, у два кроки. На першому задається різновид виконавчого засобу (наприклад, при засобі нагрівання – нагрівальні спіралі, трубчаті). На другому кроці визначаються характеристики обраного виконавчого засобу (наприклад, нагрівач методом нагрівальних спіралей, ніхромовий, градировки 11, типу ТЗД-2034).

2.7.1 Вибір електродвигуну

Вибір двигуна до електроприводу полягає у визначенні типу двигуна і його номінальних даних; потужності, номінальних значень напруги і частоти обертання, перевантажувальної здатності, тощо. Вибір двигуна пов'язаний із забезпеченням цілої низки вимог, обумовлених параметрами мережі живлення, способом монтажу двигуна, зовнішніми умовами, його експлуатацією, режимом роботи електроприводу.

Параметри електричного живлення, визначають вибір типу двигуна (постійного або змінного струму, однофазний або трифазний) і його номінальну напругу. Метод монтажу і зовнішні умови експлуатації визначають будову двигуна (двигун на лапах або фланцевого кріплення, закритого або захищеного виконання) та його кліматичне виконання (для помірного, гарячого, тундрового клімату, тощо). Режим роботи електроприводу дає вимоги до динамічних і статичних характеристик двигуна.

Електродвигуни діляться на двигуни постійного і змінного струму, крокові електродвигуни, серводвигуни і лінійні. Електродвигуни змінного струму, своєю чергою, поділяються на синхронні і асинхронні.

Електродвигуни постійного струму використовуються для створення регульованих електроприводів з високими динамічними й експлуатаційними характеристиками. До таких характеристик відносяться висока рівномірність швидкості і перезавантажувальна здатність.

Електродвигуни змінного струму користуються вищим попитом, ніж двигуни постійного струму. Їх часто використовують в побуті й в промисловості. Їх виробництво набагато дешевше, конструкція простіша і надійніша, а експлуатація досить проста. Практично вся домашня побутова техніка обладнана електродвигунами змінного струму. Їх використовують в пральних машинах, кухонних витяжних пристроях, тощо. У великій промисловості з їх допомогою приводиться в рух станкове обладнання, лебідки

для переміщення важкого вантажу, компресори, гідравлічні і пневматичні помпи і промислові вентилятори.

Крокові електродвигуни діють за принципом перетворення електричних імпульсів в механічне переміщення дискретного характеру. Більшість офісної та комп'ютерної техніки обладнано ними. Такі двигуни маленькі, але продуктивні. Іноді потрібні в окремих галузях промисловості.

Серводвигуни належать до двигунів постійного струму. Їх робота здійснюється через створення від'ємного зворотного зв'язку. Такий двигун відрізняється високою потужністю і здатний розвивати велику швидкість обертання валу, регулювання якого здійснюється через комп'ютерне забезпечення. Така функція робить його потрібним при обладнанні в сучасних промислових конвейєрах.

Лінійні електродвигуни мають унікальну здатність прямолінійного переміщення ротора і статора відносно один одного. Такі двигуни незамінні для роботи механізмів, дія яких заснована на поступальному і зворотно-поступальному русі робочих органів. Використання лінійного електродвигуна здатне підвищити надійність і економічність механізму завдяки тому, що значно спрощує його діяльність і майже повністю виключає механічну передачу.

Синхронні двигуни це різновид електродвигунів змінного струму. Швидкість обертання їх ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля в повітряному зазорі. Їх використовують для компресорів, кондиціонерів, pomp і генераторів постійного струму, бо вони працюють з постійною швидкістю.

Асинхронні двигуни також, належать до категорії електродвигунів змінного струму. Частота обертання їх ротора відрізняється від частоти обертання магнітного поля, яке створюється струмом обмотки статора. Асинхронні двигуни поділяються на два типи, в залежності від конструкції ротора: з короткозамкненим ротором і фазним ротором. Конструкція статора в обох видах однакова, різниця тільки в обмотці.

Вимоги до динамічних властивостей двигуна залежать від частоти пуску і гальмування, характеру доповнення і зняття навантаження до двигуна. В нашому випадку це майже раз на цикл алгоритму й конкретні положення, отже було обрано крокові електродвигуни. Крокові електродвигуни менше за інші потребують точної подачі керуючого сигналу для положення.

2.7.2 Вибір реле часу

В принцип роботи реле часу закладений відлік часу до спрацьовування контактів. На сьогодні існують пристрої двох видів: циклічний таймер (цілком самостійний пристрій) і проміжне реле, коли з зовнішнього вузла сигнал обробляється пристроєм.

Пристрої циклічного типу створюють сигнали на вихід через виставлений інтервал часу. З самого початку це був механічний виріб, що взаємодіє з контактами через програмований механічний барабан. Даний тип широко використовують в системах автоматики для включення і відключення всіляких механізмів.

Проміжні реле часу встановлюються в механізми, яким потрібна затримка сигналу на певний момент. Вони своєю чергою поділяються на підтипи:

- електромагнітні використовуються в ланцюгах постійного струму, де на котушці пристрою доданий окремо короткозамкнений виток і шляхом залишкового поля відбувається уповільнення на відпускання контактів або замикання. Межі регулювання до 5 секунд;
- пневматичні забезпечені спеціальним пневматичним демпфером або діафрагмою, регулювання виробляється зміною розміру повітряного отвору. Через регульований отвір задається час спрацювання. Регулювання можливе до 60 секунд;
- моторні – серце пристрою синхронний двигун, що працює від змінної мережі 50 Гц. Складний механічний пристрій з можливістю установки затримки від декількох секунд до десятків годин;

- з годинниковим або анкерним механізмом працюють шляхом зведеної пружини. Електромагніт заводить пружину, пристрій починає роботу (принцип заводної іграшки) і замикає контакти. Діапазон регулювання реле 0,1-20 сек;
- велике сімейство аналогових і цифрових електронних пристроїв, що використовують фізичні процеси в електронних схемах, заряд або розряд конденсатора, відлік певного числа імпульсів.

Оскільки затримка потребує не менше 30 секунд, то з наявних варіантів є тільки один відповідний. Це пневматичні реле часу.

2.8 Розрахунок показників надійності автоматизованого об'єкта

Основними показниками надійності елементів і систем автоматики являють час заробітку на відмову і вірогідність безвідмовної роботи.

З'єднання елементів САУ з урахуванням відмови системи при виході з ладу одного з них, варто вважати послідовним. Вихідною кількісною оцінкою для розрахунку надійності автоматичної системи є інтенсивність відмов її окремих елементів, які визначаються по спеціальних таблицях, що створені за допомогою статистичних даних експлуатації устаткування[11].

Інтенсивність відмов (λ_d) САУ визначається таким чином:

$$\lambda_d = K \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.1)$$

де λ_i - значення інтенсивності відмов і-го елемента. К – виправний коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища:

- для лабораторних умов $K = 1$;
- для стаціонарних установок $= 10 \dots 15$;
- для мобільних агрегатів $= 25 \dots 30$.

Час напрацювання на відмову ($T_{\text{нар}}$) являється величиною, оберненим значенням інтенсивності відмов САУ:

$$T_{\text{нар}} = \frac{1}{\lambda_d}, \quad (2.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи підпорядковується експоненціальному закону та визначається таким чином для окремого елемента:

$$p_i(t) = e^{-\lambda_i t_x}, \quad (2.3)$$

I визначається таким чином для всієї системи:

$$p_E(t) = e^{-\lambda_E t_x}, \quad (2.4)$$

де t_x – час роботи, для якого визначаються параметри надійності (звичайно приймають $t_x=1000$ ч., або з умови $t=<T_{\text{нар}}$).

На таблиці (2.2) представлені значення інтенсивності відмов елементів що входять в нашу систему.

Таблиця 2.2 – Інтенсивність відмов елементів

Елемент системи	Кількість	Інтенсивність відмов λ , 1/ год·10 ⁻⁶
Нагрівальний елемент	1	0,0022
Реле часу	1	0,0909

Потім за формулами (2.2–2.4) визначають основні параметри надійності САУ.

Продовження таблиці 2.2

Перетворювач температури	1	0,0045
Лампа сигнальна	1	0,001
Батарея	1	0,000021
Виконавчі механізми	7	0,0029
Детонатор	1	0.04
Електродвигуни, сельсини	3	0,15
Контролер	1	0,042
Прес	1	0.0071

Для нормально функціонуючої систем автоматизації процесу керування синтезом алмазів методом вибуху значення показників надійності орієнтовно можуть знаходитися в наступних межах:

- ймовірність відмов, при $K = 12.5$:

$$\lambda_E = 12.5 * (1 * 0.0022 + 1 * 0.0909 + 1 * 0.0045 + 1 * 0.001 + 1 * 0.000021 + 7 * 0.0029 + 1 * 0.04 + 3 * 0.15 + 1 * 0.042) = 8.1365 * 10^{-6} \text{ (1/год)}$$
- час напрацювання на відмову:

$$T_{нар} = 122,290 \text{ год};$$
- вірогідність безвідмовної роботи:

$$P(t) = 0,991.$$

Таки час напрацювання на відмову при швидкості виготовлення 400 карат на годину дає 48,916,000 карат алмазів за весь час роботи. Що дорівнює 9783.2 кілограм алмазів за увесь час роботи.

2.9 Висновок розділу

В даному розділі була розроблена функціональна схема автоматизації. Обрано елементну базу, яка складається з таких виробів, як нагрівачі та датчики рівня. Було розраховано показник надійності автоматизованого об'єкта, який складається з таких елементів як нагрівальний елемент, реле часу, перетворювач температури, лампа сигнальна, батарея, виконавчі механізми, детонатор, електродвигуни, сельсини, контролер, прес.

Було досліджено контури в автоматизованій системі та їх алгоритм роботи. Контур реактора є основним, отже він буде в подальшому досліджений.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ

Хоча й метод синтезу називається методом вибуху, але основний процес, що потребує регулювання відбувається у хімічному реакторі. Цей контур представляє найбільший інтерес. Кожен контур складається з елементів та параметрів, на основі яких створюється математична модель.

3.1 Опис елементів системи керування

3.1.1 Опис хімічного реактора

Після детонації камера заповнюється кислотою. Кислота розчиняє напівпродукт задля подальшої роботи із ним. Помпа перекачує кислоту у хімічний реактор для розділення алмазів й залишків вуглецю. Суспензія поступає у вузол для нагріву де за його допомогою відбувається повна газифікація не алмазних структур і формування на поверхні алмазних частинок стабільного й однорідного покрову з кисневмісних функціональних груп.

Хімічний реактор – це апарат для проведення хімічних реакцій при заданих температурах і тисках[13]. Для покращення роботи було обрано рішення об'єднати хімічний реактор та нагрівач в один об'єкт задля спікання суспензії на місці. Хімічний реактор повинен відповідати таким параметрам:

- тиск від 20 Гпа до 40 Гпа;
- діапазон температури від 600 °K до 1700 °K;
- об'єм: від 1 м³.

Через те, що на виході з вибухової камери кількість алмазного осаду буде мала, то в нас нема потреби у великих об'ємах. Отже, хімічний реактор Isimsan D-500 найкраще виконує свої функції.

Такого роду реактори придатні для перероблювання паст, порошків і гранульованих продуктів. Вони використовуються в хімічній і харчовій промисловостях. Ці реактори вдають із себе одношпиндельні змішувачі,

призначені для процесів вакуумування і тиску, орієнтованих для обробки порошкових виробів. Привабливі своєю технологією захисних і ефективних процесів. Реактор Isimsan D-500 має такі характеристики:

- матеріал: вуглецева сталь, нержавіюча сталь, дуплексна сталь, сплав нікелю;
- вал змішувача: один вал;
- товщина матеріалу кузова: до 40 мм;
- тиск макс.: 25 Гпа;
- товщина верхньої кришки: до 50 мм;
- діапазон температури: від 400 °К до 1800 °К;
- об'єм: 1.5 м³;

Вбудовані датчики:

- датчик температури на базі термопари;
- датчик тиску за технологією ефекту Холла.



Рисунок 3.1 – Хімічний реактор Isimsan D-500

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

IA62.110БАК.005 ПЗ

Лист

37

3.1.2 Опис контролера

Контролер призначений для збору інформації щодо стану у вибуховій камері так реакторі в режимі реального часу і зберігання й передачі цих даних для подальшої обробки в локальну мережу через інтерфейс RS-485[14] і підтримує вимірювання параметрів в наступних діапазонах:

- температура від -10°C до $2000^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$;
- тиск від $10\cdot 10^{-1}$ Па до $10\cdot 10^4$ Па;
- щільність рідини від 0.8 г/см^3 до 1.4 г/см^3 ;
- стан вибухової камери: загерметизована.

Контролер вимагає як мінімум три дискретних входа-вихода й два аналогових входа-вихода.

Проаналізувавши доступні варіанти було обрано Delta Electronics DVP-ES2/EX2 (рисунок 3.2) тому що він підтримує порти RS-485 та має велику швидкодію.

Компанія Delta Electronics намагалася створити оптимальним рішенням для аналогового управління невеликими установками. Її компанія дослідила, що контролер який має у своєму розпорядженні функцією ПД-регулювання з авторегулюванням є найбільш оптимальним варіантом[16].

Характеристики Delta Electronics DVP-ES2/EX2:

- живлення від 100V до 240V;
- аналогових входів – 4;
- аналогових виходів – 2;
- дискретних входів – 8;
- дискретних виходів – 6;
- пам'ять програми: до 16k кроків;
- комунікаційні порти: 1x RS-232 и 2x RS-485, сумісні с протоколом Modbus ASCII/RTU;
- швидкість опитування АЦП – $50-80 \cdot 10^{-4}$ сек;
- швидкість – 8388608 біт/сек;

- довжина слова даних – 8 біт;
- контроль парності – відсутній;



Рисунок 3.2 – Delta Electronics DVP-ES2/EX2

3.1.3 Опис насосу

Насос – гідравлічна машина, що перетворює механічну енергію приводного двигуна або мускульну енергію (в ручних помпах) в енергію потоку рідини, що служить для переміщення і створення напору рідин всіх видів, механічної суміші рідини з твердими і колоїдними речовинами або зріджених газів[10].

Нашим завданням для насосу в автоматизованій системі є перекачування напівпродукту з вибухової камери у реактор. Це процес який за час алгоритму відбувається один раз, отже не потребує великої надійності. Drum pump Lutz B2 Vario SS було обране для цієї задачі (рисунок 3.3).

Розроблено вітчизняною компанією для «напівлабораторних умов» й використовується на медичних підприємствах. Це значить, що об'єми невеликі, але достатні. Те, що треба проєкту. Підходить для перекачування тонкотілих кислот і лугів, хімікатів. Характеристики насосу Drum pump Lutz B2 Vario SS такі:

- діаметр трубки занурення 28 мм;
- температура накачаного середовища від 15 до + 90 ° C;

- витрата до 66 л / хв;
- в'язкість до 300 мПас;
- щільність до 1,3 кг / дм³.



Рисунок 3.3 – Drum pump Lutz B2 Vario SS

3.1.4 Вибір дисплею

Важливим елементом модернізації є зручний людино-машинний інтерфейс. Й простіший інструмент візуалізації є дисплей[11]. Дисплей повинен задовільняти такі параметри:

- сенсорність;
- мати розширення дисплею від 800х600;
- розмір екрану від 10” до 24”.

Оскільки параметрів й змінних в проєкті мало, то дисплей не потребує великих розмірів. Отже, CR1200 (рисунок 3.4) відповідає повністю і не є надлишковим варіантом.

IFM CR1200 Був створений компанією IFM для використання у будівельній техніці, сільськогосподарських машинах чи комунальних машинах. Через це має повністю герметичний корпус з високим рівнем захисту та підвищену стійкість до ударів, вібрацій та сольового напilenня.

Характеристики IFM CR1200:

- сенсорний;
- розширення дисплею: 1024x768;
- розмір екрану: 12”.



Рисунок 3.4 – IFM CR1200

3.1.5 Вибір програмного забезпечення

В процесі роботи виникає проблема вибору програмного забезпечення для поставленої в дипломній роботі конкретного завдання. У середовищі програм для ПЛК існує кілька найпоширеніших варіантів забезпечення:

- CoDeSys;
- ISaGRAF (рисунок 3.5);
- приватне програмне забезпечення фірм типу Siemens, Mitsubishi.

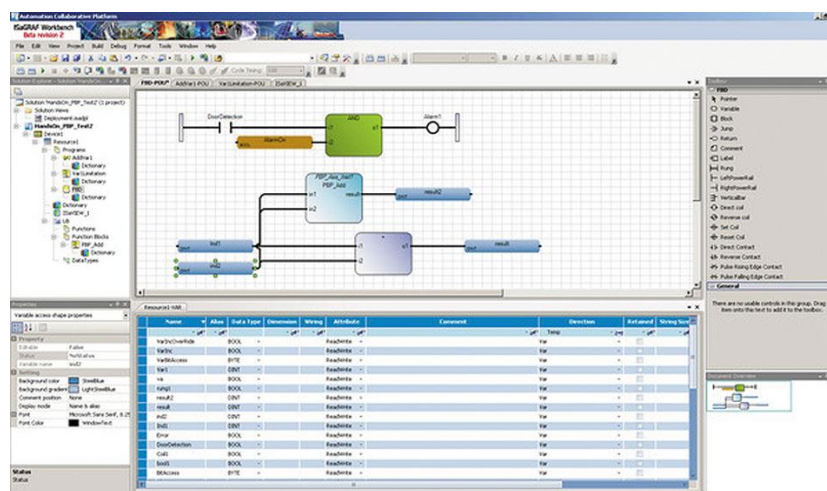


Рисунок 3.5 – Інтерфейс програмного забезпечення ISaGRAF

На основі знань отриманих в інституті був обран програмний комплекс CoDeSys версії 2.5 (безпосередньо для написання на коді SFC блоків і з'єднання їх в робочі групи) і CoDeSys версії 3.4 (для відображення). Нижче описані причини[11], за якими був обраний саме CodeSys

1. Великий вибір мов програмування (6 штук), а саме:

5 мов стандарту IEC 61131-3 (розділ міжнародного стандарту IEC 61131 для опису мов програмування для програмованих логічних контролерів):

- Structured Text (ST) – мова програмування, який використовується для програмування промислових логічних контролерів і операторських станцій. Широко використовується в SCADA / HMI / SoftLogic системах. За своєю структурою і синтаксисом знаходиться ближче до популярної мови програмування Паскаль. Інтуїтивно зрозуміло використовувати для написання програм, а також для роботи з аналоговими сигналами та числами з плаваючою крапкою.
- Ladder Diagram (LD) – мова релейної (сходовій) логіки. Призначена для програмування промислових логічних контролерів. Синтаксис мови підходить для програмування логічних схем, що були спочатку виконані на релейній техніці. Зазвичай використовують інженери по автоматизації, що працюють на промислових підприємствах. Забезпечує простий інтерфейс логіки роботи ПЛК. Це спрощує не тільки завдання програмування і введення в експлуатацію, а і швидкий пошук несправностей в підключеному до контролера обладнанні.
- Instruction List (IL) – Мова програмування, призначена для програмування промислових контролерів (рисунок 3.6). За синтаксису дуже схожа з асемблером. Апаратно – незалежна низькорівнева проста мова;
- Function Block Diagram (FBD) – графічна мова програмування, належить до стандарту MEK 61131-3. Його основне призначення полягає в програмуванні ПЛК. Система програми складається зі списку ланцюгів,

які виконуються послідовно зверху вниз. Ці ланцюги мають мітки, які дозволяють легко змінювати порядок виконання ланцюгів.

1	LD	BVar1		
	ST	inst.IN	starts timer with rising e...	
	JMPC	<u>mark1</u>		
	CAL	inst (
		PT:=t1,		is True
		ET:=>t2)		
	LD	inst.Q	gets TRUE delay time after...	
	ST	inst2.IN	starts timer with rising e...	
2	mark1:			
	LD	iVar2		
	ADD	230		

Рисунок 3.6 – Приклад використання мови IL

- Sequential Function Chart (SFC) – графічна мова програмування, який призначений для програмування промислових контролерів. Також часто залучається в SCADA / HMI системах. Він призначений для написання програм, що послідовно керують технологічним процесом. У різних станах система виконує певні підпрограми, кожна з яких має свій коефіцієнт.

Прикладом використання цієї мови може бути задача підтримки рівня рідини в посудині з безперервно витікає рідиною.

- також до доповнення до мови FBD (Function Block Diagram) в програмі є мова програмування CFC (Continuous Function Chart) (рисунок 3.7):

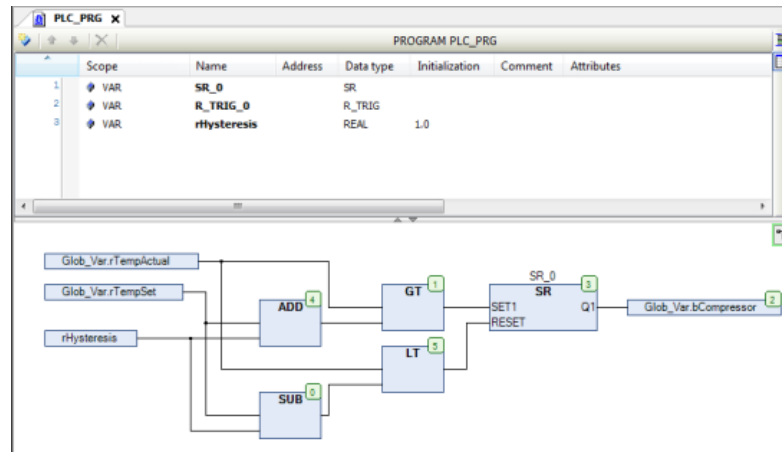


Рисунок 3.7 – Приклад використання CFC в CoDeSys

2. програма CoDeSys має підтримку більше ніж 400 типів контролерів, що надає максимально велике поширення цього проєкту. Решту програм використовують тільки найпопулярніші контролери, типу ОВЕН ПЛК;
3. можливість використання зовнішніх бібліотек;
4. це відоміша і доступна безкоштовно програма в сфері автоматизації.

3.2 Висновки розділу

В даному розділі був досліджений контур регулювання реактора. Б описана елементна база, а саме хімічний реактор, програмований логічний контролер, помпа, дисплей та програмне забезпечення. Тепер можна створити математичну модель та дослідити її.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРОМ

4.1 Розробка математичної моделі

Математична модель – математичне уявлення реальності, один з варіантів моделі як системи, дослідження якої дозволяє отримувати інформацію про деяку іншу систему. Математична модель призначена передбачити поведінку реального об'єкта, але завжди є той чи інший ступінь його ідеалізації.

Контур реактора є основним контуром управління, тому далі представлена його математична модель.

Повний математичний опис (детермінована математична модель) процесу представлено покомпонентним матеріальним балансом і тепловим балансом всього реактора. Параметри потоку однакові по всьому об'єму апарату для малого проміжку часу dt . На виході з апарату ідеального змішування параметри ті ж, що в обсязі [17].

Спрощена модель реактору представлена на рисунку (4.1). Вона складається з об'єкта керування, входу до об'єкта та виходу з об'єкта. В реакторі речовина А перетворюється на речовину В.

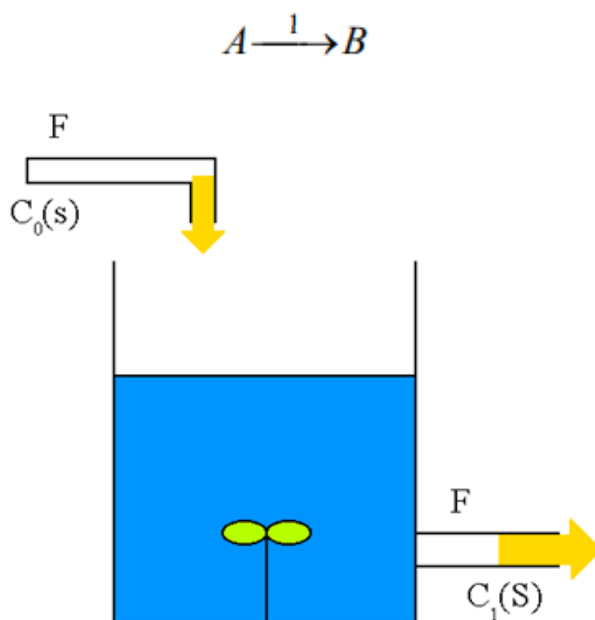


Рисунок 4.1 – Спрощена модель

На основі спрощеній моделі реактора складається блокова діаграма на рисунку (4.2).



Рисунок 4.2 – Блокова діаграма

Оскільки процес ізохорний та вважається ідеальним, то стан процесу підпорядковується матеріальному балансу реактора ідеального перемішування.

Матеріальний баланс – це рівність приходу і витрати речовини в реакторі або в процесі. Теоретичною основою складання матеріальних балансів є закон збереження матерії М.І. Ломоносова.

$$M_{вхi} - M_{вихi} + M_{змі} = dM; \quad (4.1)$$

де $M_{вхi}$ – прихід речовини з потоком m^3 / c ,

$M_{вихi}$ – витрата речовини з потоком m^3 / c ,

$M_{змі}$ – зміна речовини в хімічній реакції,

dM – накопичення речовини.

$$M_{вхi} = m_{вхi} \cdot dt, \quad (4.2)$$

$$m_{вхi} \cdot dt = V_{вх} \cdot C_{вхi} \cdot dt, \quad (4.3)$$

$$M_{вихi} = m_{вихi} \cdot dt, \quad (4.4)$$

$$m_{вихi} \cdot dt = V_{вих} \cdot C_i \cdot dt, \quad (4.5)$$

$$M_{змі} = V_r \cdot r_i \cdot dt, \quad (4.6)$$

$$dM = V_r \cdot dC_i, \quad (4.7)$$

$$m_{BXi} \cdot dt - m_{ВИХi} \cdot dt + V_r \cdot r_i \cdot dt = dM, \quad (4.8)$$

$$V_{BX} \cdot C_{BXi} \cdot dt - V_{ВИХ} \cdot C_i \cdot dt + V_r \cdot r_i \cdot C_i \cdot dt = V_r \cdot dC_i, \quad (4.9)$$

$$V_{BX} = V = V_{ВИХ} = F. \quad (4.10)$$

Як виходить з формули матеріального балансу (4.1) та перетворень (4.2-10), то передавальну функцію бака можна отримати як:

$$F \cdot C_0 - F \cdot C_1 - V \cdot K \cdot C_1 = V \cdot \frac{dC_1}{dt}, \quad (4.11)$$

де V – це об'єм реактора, F – це швидкість подачі, C_0 – це вхідна концентрація, C_1 – це вихідна концентрація, K – це коефіцієнт швидкості реакції. (4.11) можна перетворити у:

$$\frac{dC_1}{dt} + \frac{1}{t} C_1 = \frac{F}{V} \cdot C_0, \quad (4.12)$$

де $t = \frac{V}{F + KV}$ це часова константа для реактора. Наступні перетворення Лапласа дають передатну функцію (4.13)[9]:

$$\frac{C_1(S)}{C_2(S)} = \frac{Ki}{(tS+1)}, \quad (4.13)$$

де $Ki = \frac{F}{F + KV}$ це приріст передатної функції. Передавальну функцію можна отримати відповідно до наступних припущень параметрів:

- швидкість подачі однакова на протязі всього процесу однакова і дорівнює $F = 0.06 \text{ м}^3/\text{хв}$;
- об'єм на протязі всього процесу незмінний так дорівнює $V = 1.2 \text{ м}^3$;
- швидкість реакції $K = 0.035 \text{ хв}^{-1}$.

Виходячи з цього можна порахувати константи:

$$t = \frac{V}{F + KV} = 11.764 \text{ хв.}, \quad (4.14)$$

$$Ki = \frac{F}{F + KV} = 0.588. \quad (4.15)$$

Отже, передатна функція з обчисленими параметрами:

$$G(S) = \frac{0.588}{(11.764S + 1)}. \quad (4.16)$$

Модель об'єкта створено. Еквівалентну передавальна функція замкненої системи подана у формулах (4.17-18):

$$W_3(s) = \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)}, \quad (4.17)$$

$$W_3(s) = \frac{0.588}{(11.764S + 1.588)}. \quad (4.18)$$

4.2 Дослідження стійкості системи керування

Креслення в середовищі Simulink у великому форматі наведено в ІА62.040БАК.006 Д1. моделювання

Необхідною умовою працездатності системи автоматичного управління (САУ), є її стійкість. Під стійкістю заведено розуміти властивість системи відновлювати стан рівноваги, з якого вона була виведена під впливом факторів, що обурюють після припинення їх впливу

Задача обчислення коренів характеристичного рівняння високого порядку викликає великі проблеми. Тому було запропоновано декілька непрямих методів оцінки стійкості, що дозволяють обійтися без обчислення коріння – за значеннями коефіцієнтів характеристичного рівняння.

Критерії стійкості поділяють на алгебраїчні і частотні. Зокрема, до алгебраїчних критеріїв належить критерій Гурвіца, до частотних критеріїв – критерій Найквіста[11].

За методом Гурвіца для стійкості системи першого порядку потрібно, щоб a_0 був більше нуля.

$$A_0 = 11.764 > 0.$$

Отже, за методом Гурвіца система стійка. Критерій стійкості Найквіста формулюється так:

- якщо розімкнена система стійка або на межі стійкості, то для того щоб замкнена система була стійка треба, щоб АФЧХ розімкненої системи при зміні частоти ω від 0 до ∞ не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$;
- якщо розімкнена система нестійка, а її передавальна функція має m полюсів праворуч від уявної осі на комплексній площині, то для стійкості замкненої системи треба, щоб АФЧХ розімкненої системи при зміні частоти ω від $-\infty$ до $+\infty$ охоплювала m разів точку з координатами $(-1, 0j)$.

Для дослідження цим методом потрібно використати розімкнену передатну функцію (4.6).

Було створено функцію у середовищі MatLab, як на рисунку (4.3).

```
>> w = tf([0.588],[11.764 1])

w =

      0.588
-----
11.76 s + 1
```

Рисунок 4.3 – Створення розімкненої передатної в MatLab

Після реалізації функції треба створити її графік на рисунку (4.4) за допомогою команди `nyquist`:

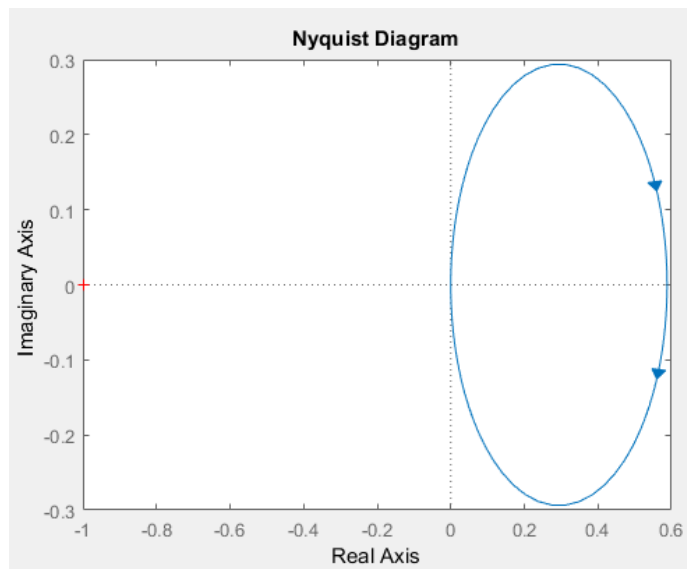


Рисунок 4.4 – Створення діаграми Найквіста в MatLab

З діаграми можна отримати данні, що АФЧХ розімкненої системи при зміні частоти ω від 0 до ∞ не охоплює точку з координатами $(-1, j0)$. Отже, за методом Найквіста наша система стійка.

4.3 Дослідження якості системи керування

Якість автоматичного регулювання – це вид процесу при регулюванні. Повернення регульованої величини до заданого значення після збурення[17].

На рисунку (4.5) показана будова перехідної характеристики за допомогою програмного пакета MatLab за середовища Simulink:

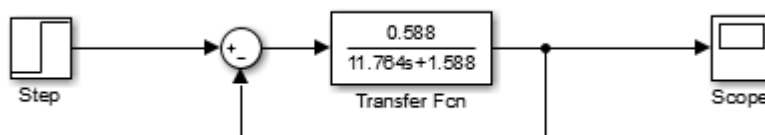


Рисунок 4.5 – Схема нашої системи в Simulink

Запуск системи дає графік, як на рисунку (4.6).

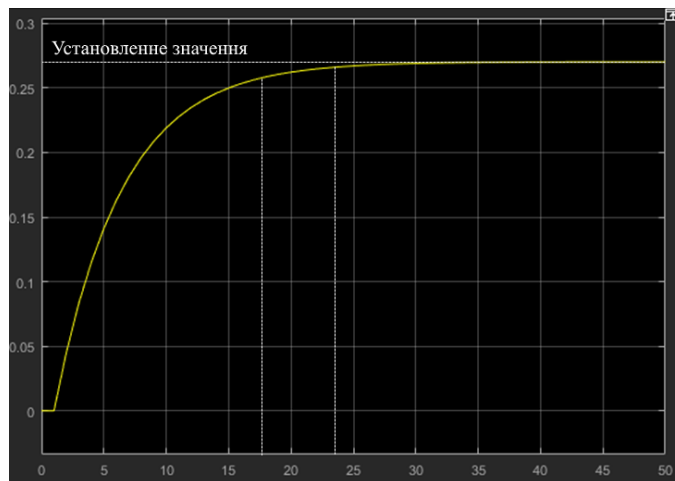


Рисунок 4.6 – Графік функції без регулятора

З графіку можна отримати параметр перерегулювання σ :

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{0.27 - 0.27}{0.27} \cdot 100\% = 0\%. \quad (4.19)$$

Представлена таблиця (4.1) з характеристикою передатної функції на основі графіка на рисунку (4.6).

Таблиця 4.1 – Характеристики передатної функції

Перерегулювання σ	Час зростання	Час установки	R	L	h_{max}	$h_{уст}$
0%	17с	24с	0.075	1	0.27	0.27

Отже, відомі характеристики та на основі цих даних можна перейти до синтезу регулятора.

4.4 Розробка регулятора для системи керування

Стратегія управління буде базуватися на пропорційній плюс інтегральній (PI) та пропорційній плюс інтегральній плюс похідній (PID) технологіях. Режим пропорційного керування створює зміну виходу контролера,

пропорційну сигнал помилки. Тим часом режим інтегрального керування змінює вихід контролера на величину, пропорційну інтегралу сигналу про помилку[10].

Одна з проблем інтегрального режиму полягає в тому, що він збільшує тенденцію до коливань змінної контролера. Коефіцієнт посилення пропорційного контролера повинен зменшуватися, коли він поєднується з інтегральним режимом. Це знижує здатність контролера реагувати на швидкі зміни навантаження.

Щоб розв'язати цю проблему можна додати похідну технологію, яка повинна утримувати коливання змінної контролера.

Розрахунок ПІ- та ПІД-регулятора для зменшення таких параметрів як затримка L та нахил дотичної R представлений у формулі (4.20).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t), \quad (4.20)$$

де $e(t)$ – помилка між заданою величиною та фактичним виходом, $u(t)$ – вихід контролера, а K_p , K_i , K_d – посилення PID-контролера. Основний PID-контролер безпосередньо працює на сигнал помилки, і це може призвести до великого перерегулювання у відповідь процесу через пропорційний та похідний удар.

На таблиці (4.2) подано налаштування коефіцієнтів регулятора в залежності від типу регулятора.

Таблиця 4.2 – Налаштування коефіцієнтів регулятора

Тип	K_p	K_i	K_d
П	$1/RL$		
ПІ	$0.9/RL$	$3L$	
ПІД	$1.2/RL$	$2L$	$L/2$

Отже, для ПІ регулятора коефіцієнти такі:

$$K_p = 12, \quad (4.21)$$

$$K_i = 3. \quad (4.22)$$

А також для ПІД регулятора коефіцієнти такі:

$$K_p = 16, \quad (4.23)$$

$$K_i = 2, \quad (4.24)$$

$$K_d = 0.5. \quad (4.25)$$

Маючи коефіцієнти схема в Simulink з використанням онних виглядає як на рисунку (4.6).

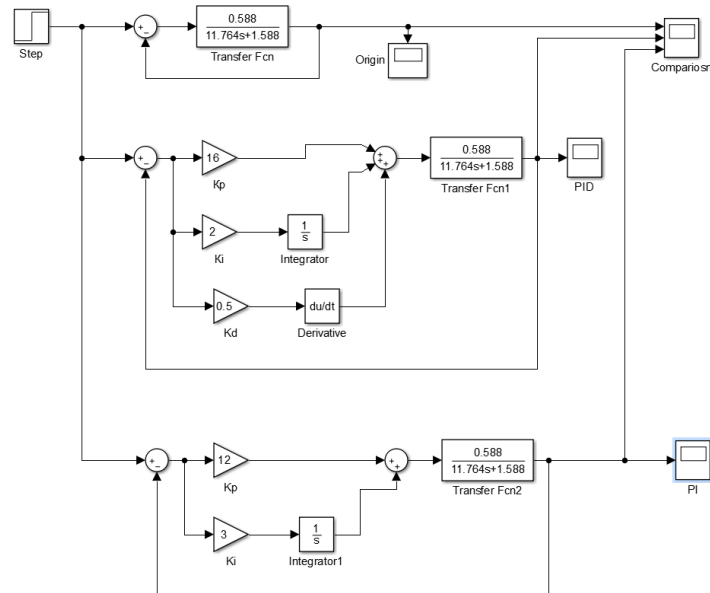


Рисунок 4.6 – Схема системи в Simulink з регуляторами

Використавши елементи Scope в системі з назвами «PI» та «PID» отримали графіки представлені на рисунках (4.7-8) для ПІ- та ПІД-регуляторів відповідно.

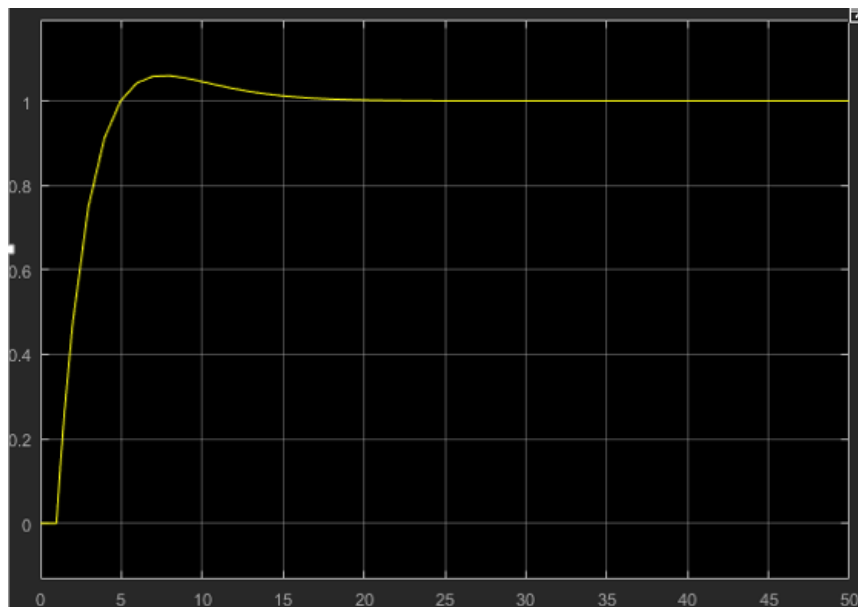


Рисунок 4.7 – Графік ПІ-регулятора

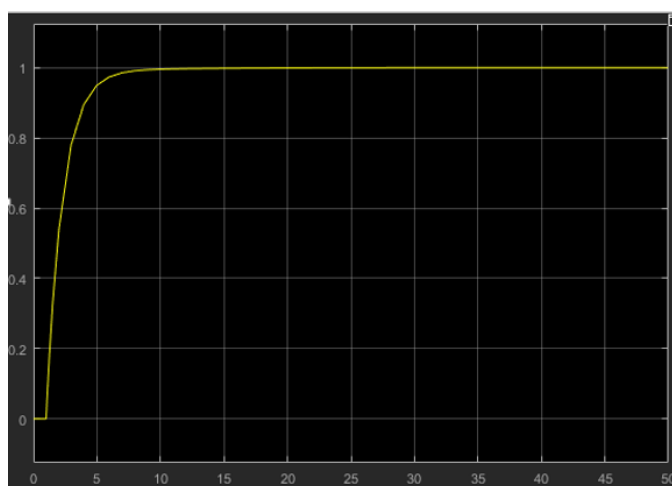


Рисунок 4.8 – Графік ПІД-регулятора

Значення перерегулювання для ПІ-регулятора:

$$h_{max} = 1.06; \quad (4.26)$$

$$h_{уст} = 1; \quad (4.27)$$

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1.06 - 1}{1} \cdot 100\% = 0.06\%; \quad (4.28)$$

Як видно на графіку, то покращення відбулися, але наявне перерегулювання.

Значення перерегулювання для ПІД-регулятора:

$$h_{max} = 1; \quad (4.29)$$

$$h_{уст} = 1; \quad (4.30)$$

$$\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\%; \quad (4.31)$$

З отримані данні будуть порівнянні результати із початковим графіком за допомогою Score з назвою «Comparsion» (рисунок 4.9).

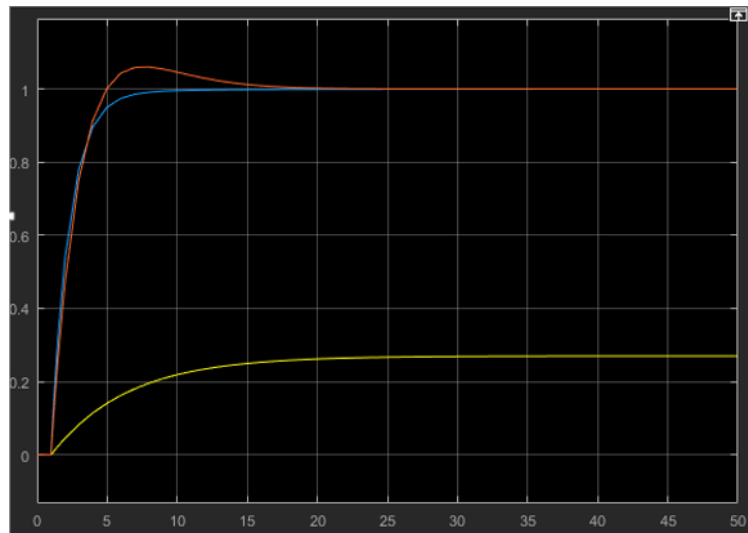


Рисунок 4.9 – Порівняння графіків

Далі наведена таблиця (4.3) для порівняння характеристик з отриманих даних.

Таблиця 4.3 – Порівняння характеристик передатної функції

Тип регулятора	Нема	ПІ	ПІД
Перерегулювання σ	0%	6%	0%
Час зростання	17с	4.8с	4.9с
Час установки	24с	14с	5.1с
R	0.075	0.3	0.42
L	1	1	1
h_{max}	0.27	1.06	1
$h_{уст}$	0.27	1	1

Як видно з таблиці, то ПІД-регулятор повністю відповідає та покращує приблизно в 4 рази загальні параметри.

4.5 Висновки розділу

В цьому розділі була створена математична модель реактору з використанням закону збереження матерії М.І. Ломоносова. Було виконано перетворення Лапласа, щоб можна було дослідити модель на якість та стійкість методами Найквіста та Гурвіца.

Якість процесу не відповідала завданню, тому були створенні ПІ- та ПІД-регулятори на основі отриманих даних. Отриманні моделі були досліджені на якість і в результаті якість системи була покращена в 2-4 рази.

5 РОЗРОБКА ТА ОПИС АЛГОРИТМУ РОБОТИ СИСТЕМИ

5.1 Опис алгоритму системи

Алгоритм – кінцева сукупність точно заданих правил рішення довільного класу задач або набір інструкцій, що описують порядок дій виконавця для розв'язання деякої задачі. Відповідно до завдання система повинна регулювати параметри в таких межах:

- 1) інтервал тиску в вибуховій камері P . 20-30 Кпа;
- 2) інтервал температури в реакторі T . 0-1673К;
- 3) інтервал рівня рідини h . 0-100%;
- 4) стан для насосу кислоти: 0-100%;
- 5) стан для насосу перекачки в реактор: 0-100%;
- 6) стан для насосу газу: 0-2;
- 7) стан для насосу зливу: 0-100%;
- 8) стан для насосу розчинника: 0-100%;
- 9) стан для клапана вливу в вибухову камеру: 0-100%;
- 10) стан для клапана зливу з вибухової камери: 0-100%;
- 11) стан для клапана вливу в реактор: 0-100%;
- 12) стан для клапана зливу з реактора: 0-100%;
- 13) стан для газового клапана в реакторі: 0-100%;
- 14) стан міксера: увімкнений . . . вимкнений;
- 15) стан нагрівача: увімкнений . . . вимкнений;
- 16) стан сигналізації: увімкнений . . . вимкнений;
- 17) стан шлюзу вибухової камери: відчинено . . . закрито;
- 18) Стан шлюзу реактору: відчинено. . . закрито;

Сам процес поділено на 8 кроків за таблицею 5.1.

Таблиця 5.1 – Кроки схеми алгоритму

№	Назва кроку	Призначення
1	Початок алгоритму	Ініціалізація алгоритму, активуються замки на шлюзах.
2	Детонаційний синтез	Детонація у камері, дотримання безпеки.
3	Обробка напівпродукту 1	Заливається у камеру кислота, щоб хімічним методом дістати синтезовані алмази.
4	Хімічне очищення	Кислота обробляється й заливається в хімічний реактор.
5	Відмивання від кислоти	В кислоту додається розчинник й починається процес розчинення вуглецевого шару з алмазів.
6	Обробка напівпродукту 2	Кислота зливається, починається кондиціонування.
7	Кондиціонування, модифікування	Реактор починає нагріватися, завдяки чому відбувається газифікування усіх не алмазних структур.
8	Кінець алгоритму	Реактор зменшує свою температуру, газ кондиціюється з реактора, знімаються замки з шлюзів.

5.2 Реалізація алгоритму в середовищі CodeSYS

Мапа змінних – список змінних для програм, які оголошуються перед кодом[18]. Враховуючи наші параметри отриманні параметри в підрозділі 5.2, то було створено мапу змінних проєкту (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Мапа змінних

Номер змінної	Назва змінної	Тип змінної	Інтервал змінної	Призначення змінної
1	Detonator	BOOL	True/False	Команда детонації
2	P	WORD	0-100	Стан для насосу перепомпуння в реактор
3	StartAcidP	WORD	0-100	Стан для насосу кислоти
4	AddHP	WORD	0-100	Стан для насосу розчинника
5	OutAcidP	WORD	0-100	Стан для насосу зливу
6	AirP	WORD	0-2	Стан для насосу газу
7	ChamberLock	BOOL	True/False	Стан шлюзу вибухової камери
8	ReactorLock	BOOL	True/False	Стан шлюзу реактору
9	Mixer	BOOL	True/False	Стан міксера
10	Heater	BOOL	True/False	Стан нагрівача
11	ChamberAV	BOOL	True/False	Стан для клапана вливу в камеру
12	ChamberOV	BOOL	True/False	Стан для клапана зливу з вибухової камери
13	ReactorIV	BOOL	True/False	Стан для клапана вливу в реактор
14	ReactorOV	BOOL	True/False	Стан для клапана зливу з реактора
15	ReactorAOV	BOOL	True/False	Стан для газового клапана в реакторі
16	Llevel	WORD	0-100	Рівень заповнення вибухової камери
17	Pressure	WORD	1000-10000	Рівень тиску в реакторі

Продовження таблиці 5.2

Номер змінної	Назва змінної	Тип змінної	Інтервал змінної	Призначення змінної
18	Temperature	WORD	0-2000	Рівень температури в реакторі
19	Alarm	BOOL	True/False	Стан сигналізації

Створивши розподілення кроків алгоритму роботи на простіші для мови SFC сформована таблиця (5.3) з 21 кроку в CodeSYS.

Таблиця 5.3 – Таблиця кроків CodeSYS

Назва кроку	Його призначення
Init	Ініціалізація алгоритму.
Detonate	Сигнал до початку вибуху.
AddAcid	Після вибуху подати кислоту у вибухову камеру.
UseAcid	Чекати доки кислота не розчинить алмази.
MoveToReactor	Транспортувати кислоту з алмазами до реактора.
AddGas	Додати газ-каталізатор в реактор.
StartPress	Почати створювати тиск.
StartHeat	Зупинити створення тиску й початок нагрівання.
StopHeater	Зупинити нагрівання.
AcidOut	Очікування декарбонізації, потім злив побічної речовини.
StartHeat2	Другий початок нагрівання.
StopHeat2	Друге зупинення нагрівання.
Condition	Газифікація усіх не алмазних структур, та кінець.
AlarmT	Перевірка аварійної ситуації через температуру.
AlarmP	Перевірка аварійної ситуації через тиск.
ActivateAlarm	Активація сигналізації.
Empty	
Empty2	
Empty3	
Empty4	
Empty5	
Empty6	

При створенні проєкту була використана мова SFC.

Було створено початкові параметри з мапи змінних (5.2), а потім створено кроки за таблицею кроків (5.3). Створюється ще одна гілка для перевірки на аварійні умови, та ще одну в гілці для одночасної перевірки на різні види умов, як показано на рисунку (5.1).

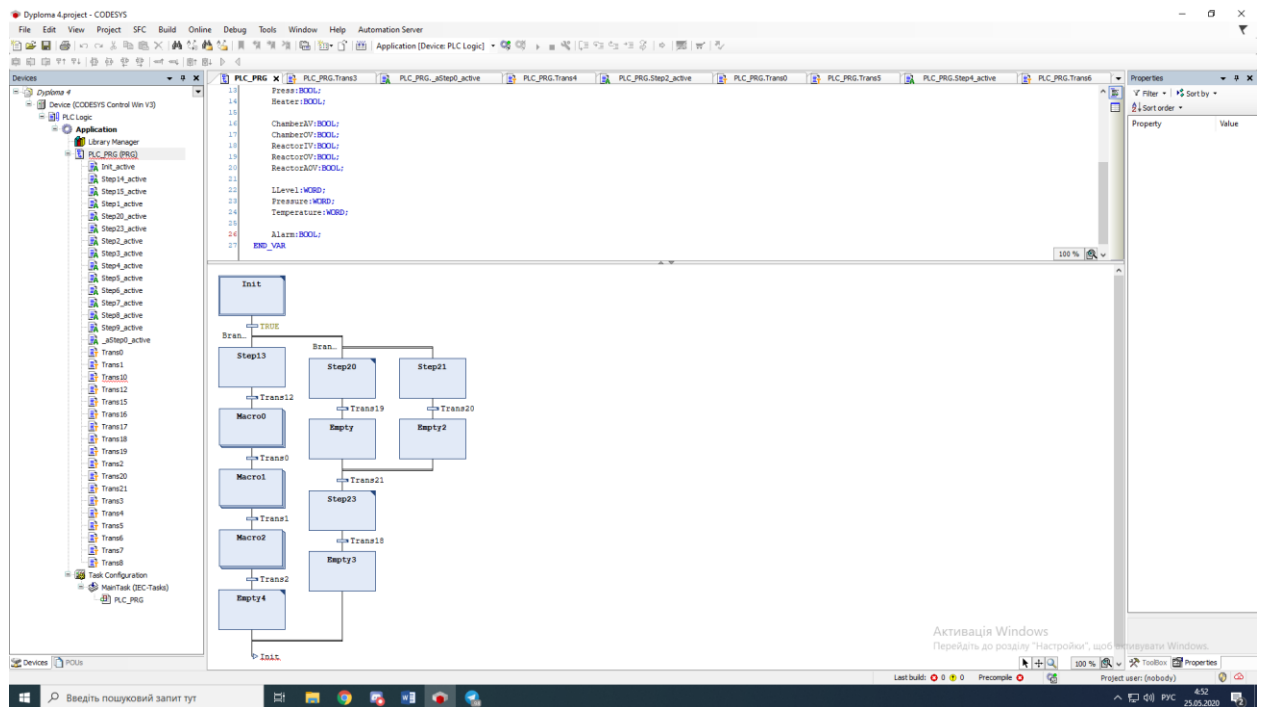


Рисунок 5.1 – Виконання алгоритму

В результаті наявний алгоритм, що виконується послідовно із дотримань правил. Також є відокремлена аварійна гілка на випадок аварійних ситуацій. При перевищенні критичних значень деяких параметрів відбувається вимкнення системи та включення сирени.

5.3 Висновки розділу

В даному розділі була виконана робота по поділенню алгоритму на дискретні кроки. Була створена мапа змінних. На основі цих даних була створена програма в середовищі CodeSYS.

ВИСНОВКИ

В даному проєкті була створена автоматизована система управління виробництвом синтетичних алмазів.

В першому розділі було досліджено технологію виготовлення, наявне обладнання, існуючу систему керування. Були виявлені недоліки та поставлені цілі для проєктованої системи.

В другому розділі була розроблена функціональна схема автоматизації технології синтезу, описали її, вибрали елементу базу. Були дослідженні контури регулювання та виділено основний.

В третьому розділі був досліджений контур реактора. Було створено структурну та функціональну схеми, обрали елементи відповідні.

В четвертому розділі була створена математична модель, отримана передатна функція, досліджена на якість та стійкість, синтезовано ПІ- та ПІД-регулятори та досліджені на якість. Параметри якості були підвищенні в чотири рази.

В п'ятому розділі алгоритм було перетворено на те, щоб перенести його в середовище CodeSYS. Було створено мапу змінних для програми та, потім, саму програму.

В процесі роботи над проєктом було застосовано знання з теорії автоматизації управління, програмування промислових систем автоматичного управління, математики. Мета проєкту була досягнена й була створена сучасна система автоматизованого керування технологічним процесом виготовлення алмазів.

Список літератури

1. Проценко І. Ю., Наноматеріали і нанотехнології в електроніці П57 підручник. – Суми : Сумський державний університет, 2017 – 155 с.
2. Искусственные алмазы, образующиеся при детонации взрывчатых веществ (НОВИКОВ С.А. , 1999), ФИЗИКА [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/726.html> – Назва з екрану.
3. Детонационный синтез алмазов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pa2000_2/pages/04/pap_04.html – Назва з екрану.
4. Долматов, В. Ю. Опыт и перспективы нетрадиционного использования ультрадисперсных алмазов взрывного синтеза / В. Ю. Долматов // Сверхтвердые материалы. – 1998. – № 4. – С. 77–81.
5. Титов В.М., Анисичкин В.Ф., Мальков И.Ю. Исследование процесса синтеза ультрадисперсного алмаза в детонационных волнах // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 3. С.117..
6. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение /П. А. Витязь [и др.] – Минск: Беларус. навука, 2013. – 396 с. – ISBN
7. Даниленко, В. В. Синтез и спекание алмазов взрывом / В. В. Даниленко. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
8. Новиков С.А., Петров В.А. Установки взрывного типа для механических испытаний материалов и конструкций: (Обзор). М.: ЦНИИАтоминформ, 1989. 60 с..
9. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с

- 10.Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК/ В.Т. Діордієв. –Сімферополь, Доля 2004 – 136 с.
- 11.Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с
- 12.Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка / Ю. Н. Федоров. М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с
- 13.ВАТ «Електросвіт». Компоненти автоматики та телемеханіки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.es.ua/ua/>
- 14.DirectIndustry - Онлайн-выставка промышленной продукции [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.directindustry.com.ru/>
- 15.Компанія «ОВЕН». Обладнання для автоматизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.owen.ru>.
- 16.Компанія «VIPA». Обладнання для автоматизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.vipo.com.ua>.
- 17.A Step by Step Approach to the Modeling of Chemical Engineering Processes / Liliane Maria Ferrareso Lona – School of Chemical Engineering University of Campinas, 2015. – 182с.
- 18.Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 / CoDeSys, 2006. – 453с